

创新 交流 合作 发展

第二十六届全国直升机年会

学术论文集

(上册)

中国航空学会
直升机分会

二〇一〇年八月

V2-53/1004(26)-A



NUAA2010074840

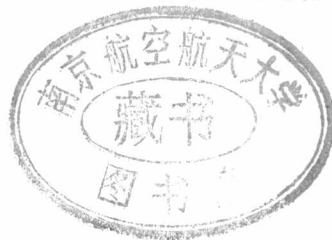
V2-53
1004(26)-A

第二十六届全国直升机年会

学 术 论 文 集

8月21日——8月24日

中 国 西 安



中国航空学会

直升机分会

二〇一〇年八月

2010074840

第二十六届全国直升机年会论文集目录

综 合 (17 篇)

未来直升机平台技术与飞行试验发展要求	于琦 秦超敏 (1)
军机研制技术风险评估与应用	张华 宋宪斌 (6)
加快发展通用航空完善中国特色航空应急救援体系	刘铁雄 (10)
刚性旋翼复合式直升机技术特点分析	刘成 朱清华 李建波 (13)
无人直升机效能评估方法研究	胡瀚杰 宫元 张志清 戴勇 张逊 (19)
军用无人直升机现状及未来发展趋势	全云岗 张鹏 张君 王应龙 (24)
新一代武装直升机作战能力需求分析	邱学军 (27)
国外武装直升机关键技术回溯与发展趋势	周俊 王立强 李珍 贾斐 刘峰 (30)
高原直升机军事需求问题研究	胡国桥 魏 峰 潘寒尽 (34)
转包生产与世界航空产业链的关系	李轶 (37)
航空电子综合技术的现状及发展	臧和发 裴成山 姜峰 (46)
机载反坦克导弹制导系统现状及发展趋势分析	段美君 陈伟 王宏宇 (49)
有源相控阵雷达的发展现状与其在直升机上的发展展望	施海伟 李丽红 郑文博 (54)
直升机载多功能火控雷达现状与发展	仇树军 李珍 周俊 段波 (58)
陆航数据链系统及关键技术探讨	孙国忠 伏永平 陈亚民 (61)
如何发挥小型直升机在应急救援中的作用	孙凤伟 犹轶 (64)
无人直升机的发展及应用研究	李丽红 施海伟 孙颖 (67)

空气动力学 (38 篇)

并行方法在直升机计算流体力学中的初步应用	李鹏 招启军 王博 (71)
不同气动模型对旋翼气动载荷计算的影响研究	肖宇 徐国华 王海 (76)
低马赫数下翼型的动态失速模型的修正	陈琨 刘勇 张呈林 倪先平 (81)
共轴双旋翼自转气动特性风洞试验方案及模型设计研究	姬乐强 朱清华 李建波 (85)

横流风扇的无尾桨直升机尾梁流场 CFD 分析	张银辉 唐正飞 高卓飞 (90)
基于 N-S 方程的旋翼翼型反设计分析	万俊明 赵国庆 招启军 尚克明 (95)
基于非结构网格的纵列式双旋翼悬停状态干扰流场分析	樊枫 徐国华 招启军 叶靓 (101)
变转速共轴旋翼载荷计算模型研究	沈俊 徐锦法 夏青元 吴平 (106)
基于傅立叶方法的旋翼尾迹悬停状态稳定性分析	吕维梁 招启军 徐国华 (112)
基于工程方法的纵列式双旋翼悬停气动干扰性能计算	吴林波 陈平剑 李春华 (119)
基于合成射流的直升机翼型流动控制初步研究	赵国庆 招启军 (125)
基于序列线性规划和自由尾迹方法的直升机旋翼性能优化技术研究	蔡伟 赵小全 吴奎发 (131)
基于粘性涡粒子方法的旋翼自由尾迹模型	魏鹏 徐国华 招启军 (135)
桨尖喷气旋翼气动力计算和动力学设计	刘永志 董凌华 杨卫东 (141)
桨叶结冰对旋翼气动特性影响的计算	胡立芃 刘国强 唐正飞 (146)
某型机悬停性能问题的排查方法	徐玉貌 姜滨 林逸平 孟胜学 (152)
某型直升机旋翼旋转噪声研究	崔荫 朱跃法 张亚军 (158)
某旋翼翼型动态压力测量 $\Phi 3.2$ 米风洞试验	兰波 彭先敏 章贵川 (163)
前飞状态旋翼尾迹测量试验研究	袁红刚 杨永东 史喆羽 (167)
前飞状态旋翼气动特性 N-S 方程数值计算	徐广 招启军 王博 徐国华 (171)
微型共轴双旋翼气动性能计算分析研究	高卓飞 胡立芃 唐正飞 (177)
悬停状态三维桨尖旋翼模型桨叶表面动态压力测量试验	林永峰 黄建萍 严军 陈文轩 (183)
悬停状态下旋翼桨叶的气动外形优化设计	刘国强 高卓飞 唐正飞 (190)
悬停状态直升机旋翼桨叶扭转分布优化方法	王博 招启军 徐广 徐国华 (196)
旋翼下洗流中圆柱体尾梁环量控制参数研究	董振兴 邓升平 王世雄 高亚东 (201)
旋翼转速优化对直升机飞行性能的影响研究	徐明 朱清华 李建波 (206)
异型喷管对某型直升机飞行性能的影响	赵敬超 于琦 (211)
直升机风洞试验数据相关性研究综述	李萍 杨永东 袁红刚 (215)
直升机涵道尾桨结构参数对其气动特性影响的 CFD 分析	倪同兵 招启军 徐国华 高延达 (220)
直升机涵道尾桨噪声特性试验研究	刘正江 胡和平 李明 黄建萍 (225)
直升机进气道参数的试验分析	刘衍涛 严军 陈雪松 (230)
直升机试验台旋翼操纵系统现场标定技术研究	章贵川 吴志刚 许冰 (237)
直升机尾桨涡干扰噪声试验研究	何瑞恒 黄汉超 龚亮 王华明 (241)

直升机旋翼载荷飞行测试结果的分析与应用	吴裕平 习娟 陈平剑 (245)
直升机翼型动态试验装置驱动系统研制	彭先敏 章贵川 兰波 许冰 柳庆林 (249)
直升机着舰的气动力分析及建模	章海红 (253)
纵列式直升机双旋翼流场及性能初步试验研究	黄水林 招启军 林永峰 李明 刘平安 (258)
八维六自由度动态测力装置的研制及应用	章 剑 赵卓 廖良全 (266)

飞行力学与控制 (28 篇)

小型无人飞机嵌入式导航与控制系统设计	孙伟 宋彦国 (273)
电控旋翼桨距时域自适应控制仿真	洪亮 陆洋 郝慧超 (279)
电控旋翼直升机飞行动力学建模及参数分析	赵鑫 陆洋 王超 (284)
多组共轴旋翼无人飞行器、控制与航电设计	夏青元 徐锦法 (288)
风切变对直升机飞行特性的影响	高华 曹嘉旻 (292)
复合式共轴直升机的配平问题研究	段赛玉 陈铭 (295)
基于 FlightGear 的无人直升机飞行控制系统仿真环境建设	段 鏖 严峰 赖水清 (301)
基于积分分离 PID 的电控旋翼电磁作动器控制仿真	郝慧超 陆洋 李超 (305)
基于神经网络的动态逆控制器设计与实现	尹彦清 徐锦法 (310)
基于数据库的直升机逆模型跟踪控制及优化研究	范武斌 宋彦国 (315)
舰载直升机的起飞与着舰流程	宋宪斌 陈宣友 (320)
柯里奥利效应引起的飞行错觉力学分析	韩跃峰 侯刚 赵宇 (325)
某型舰载直升机抗侧风性能研究	王春旭 李国策 胡国才 李军亮 张耀龙 (329)
某型直升机航向积分漂移研究	袁利勋 张新军 刘亚飞 李中喜 (334)
某型直升机急拉杆和急推杆试飞方法研究	张宏林 孙杰 秦超敏 (338)
倾转旋翼机飞行动力学模型辨识研究	付青涛 宋彦国 (342)
无人直升机控制系统与 CAN 通信	王昌刚 徐锦法 夏青元 (348)
小型无人倾转旋翼机 H_{∞} 回路成形控制律研究	郭剑东 宋彦国 (352)
新型垂直起降飞行器飞行力学特性研究	王继磊 王焕瑾 (358)
一种旋翼提前操纵角试验测量方法	李开成 尹春望 龙贵华 王亦明 (363)
用于无人直升机着陆控制验证的地面模拟驱动系统设计	张梁 徐锦法 徐李云 (367)

直升机飞控系统半物理仿真试验系统的研究	廖枫 黄丹 黄剑飞(372)
直升机非线性运动建模技术研究	葛晓凯 赵先辉(375)
直升机机动飞行逆仿真及应用	汪正中 许宁鑫 周楫(380)
纵列式直升机的配平	张亚飞 陈仁良(388)
并列式座舱直升机通用仿真平台设计	王小强 陈雷(392)
直升机旋翼/发动机一体化建模研究	张海涛 陈仁良(397)
直升机等角航线飞行和大圆圈航线飞行的对比分析	刘国华 钱勃 韩跃峰(403)

动力学 (37 篇)

二维翼型跨音速颤振分析	邵松 王海风 张呈林 倪先平(407)
动力学参数对悬停状态倾转旋翼/短舱/机翼耦合系统阻频特性影响分析	薛立鹏 张呈林(412)
多阻尼状态下模型旋翼气弹稳定性分析	李燕秀 吴明忠 胡和平 刘奇伟(418)
变直径倾转旋翼模型设计及动力学分析	杨库 张伟 崔荫 刘政(424)
无轴承尾桨的气弹稳定性研究	古应运 肖银 陈剑 赵昕(428)
HHT 方法在旋翼不平衡故障特征提取中的可行性分析	王敬华 邓升平 王遇波 高亚东(433)
Z9 直升机风挡玻璃的有限元分析	门坤发 聂江 徐海斌 杨明鹏(437)
采用多体动力学仿真的直升机旋翼动力学特性分析	思灿勇 夏品奇(441)
复合材料构件有限元分析	何九领 鲁金华 刘培元(447)
复杂应力状态下的裂纹扩展分析	陈芳(453)
无人直升机桨叶静矩互差及其确定方法研究	姜年朝 张逊 戴勇 张志清 王红红 周光明(458)
后缘小翼型智能旋翼桨叶设计与动特性分析	朱建华 张柱 杨卫东(461)
基于 ADAMS 的直升机旋翼(尾桨)/传动系统扭振固有特性分析	魏来 张体磊 王华明(466)
基于 CFD/CSD 耦合算法的旋翼悬停状态气弹特性分析	刘成 朱佳霖 唐正飞(471)
基于 VABS 的复合材料柔性梁剖面刚度计算与分析	夏双满 张体磊 王华明(477)
基于边界效应的动力学无损检测方法在直升机桨叶上的应用	王瑞娟 刘勇(482)
基于支持向量机的直升机旋翼不平衡故障研究	邓升平 董振兴 王遇波 高亚东(487)
桨叶变形摄像测量标定方法研究	陈学友 张体磊 王华明(492)
桨叶穿孔损伤的有限元仿真分析	罗晓平 孙中涛(497)

桨叶动平衡的特殊问题处理方法探讨	沈庆楼 刘政 张守权 (501)
精细积分法在旋翼气弹稳定性分析中的应用研究	贾良现 邓景辉 黄珺 (505)
三参数 Weibull 分布在振动数据处理中的应用	朱跃法 邹达懿 张亚军 (511)
橡胶弹性扭管式动力反共振隔振器性能分析	邓旭东 刘勇 (514)
小型无人直升机动力学建模与控制律设计	尹协文 徐锦法 (518)
悬停状态下无铰式旋翼桨叶稳态位移及参数影响分析	周景良 夏品奇 (523)
旋翼动力学试验台结构特性要求初论	尹春望 李开成 王亦明 邵华松 (529)
旋翼系统模态阻尼数值计算方法研究	王安武 何瑞恒 王华明 王浩文 (534)
旋翼系统阻尼识别方法研究现状与进展	陈爱军 李燕秀 吴明忠 (539)
旋翼液压阻尼器阻尼性能研究	郑俊伟 李满福 艾剑波 (543)
旋转复合材料薄壁矩形梁动力学特性及参数影响分析	何建贤 夏品奇 (548)
支撑轴承结构对无轴承旋翼的动力学影响分析研究	赵昕 肖银 陈剑 古应运 (554)
直升机复合材料主结构稳定性高精度分析	温永海 宫少波 王正龙 (558)
直升机液弹阻尼器动力学试验研究	朱成成 武申 杨卫东 (562)
直升机主桨叶设计参数对地面共振的影响分析	王金亮 一张亚军 陈晖 陈申 (567)
非线性直升机“地面共振”稳定性分析	张文静 张方 (572)
智能旋翼的仿真及其减振的时域自适应控制研究	汪亚敏 杨大林 杨卫东 (577)
利用边界效应检测桨叶结构刚度质量变化	李登安 (582)

设计与制造 (47 篇)

直升机总体多学科设计优化	彭名华 张呈林 (587)
某无人共轴直升机旋翼桨毂设计	王君 潘永生 李鹏 (594)
无人直升机橇式起落架设计研究	杨永文 栾玉庆 姬乐强 李建波 (599)
B0105 4 米模型无铰式桨叶设计	陈伏船 陈剑 李燕秀 (604)
直升机复合材料机身主承力结构设计许用值技术研究	周国臣 齐德胜 宫少波 温永海 (608)
直升机起落架参数化模型及参数影响分析	董明明 董振兴 王遇波 高亚东 (613)
主减速器螺旋锥齿轮传动多目标优化设计	王卫刚 陈仁良 (619)
无人涵道飞行器气动布局研究	赵洪 李建波 朱清华 (625)
共轴双桨涵道飞行器设计	顾莉莉 陆澄 金开保 王欢 朱清华 (630)

基于蚁群算法的直升机总体参数优化	朱庆镇 朱清华 张呈林 (636)
某型机机身减振设计	高磊 朱跃法 王刚 孙秀文 张亚军 (640)
某型机模拟导弹吊架方案的设计与实现	张志虎 王晓卫 张少贤 陈伟 贾红光 (644)
某摇臂式尾起落架总体设计	李孝松 杨赞 黄建新 方建义 (647)
某种弹性轴承设计技术研究	徐科星 李满福 谭鹏 (652)
武装直升机安全性设计中的功能危险分析	张少贤 张君 (656)
武装直升机重量预估及总体参数优化设计研究	崔钊 彭名华 王俊超 李建波 (661)
直升机耦合动力学设计对减摆器性能和布局的要求	凌爱民 (666)
直升机多用途可配置综显系统设计的要求	杨明 李秀玲 韩艳春 鹿泽伦 (672)
直九武反坦克导弹检测设备校准装置总体设计	邓浪明 杨鸿梅 赵怀俊 夏军 (677)
抗坠毁燃油系统易碎件及吸能保护件的研究	方金福 叶宁武 单俊杰 (683)
尺寸优化在直升机喷洒结构设计中的应用	章胜冬 项洪涛 李文 (687)
复杂应力状态下的裂纹扩展分析	陈芳 (692)
共形天线在某型直升机上的应用研究	李研 王希豹 张国强 杨培滋 刘洋 (697)
基于 HLA 的直升机任务效能仿真系统开发研究	阮桂华 戚春明 汪洋 (700)
基于 S-N 曲线的桨叶安装座高周疲劳寿命计算	倪俊 姜年朝 张逊 张志清 宋军 戴勇 (704)
基于光伏发电应急直升机地面电源系统的设计方案	孔令志 黄艳芳 张江涛 (708)
基于灰色关联度的 HZX-7 航姿系统故障诊断专家系统设计	陈学江 缪毅 曹花荣 刘波 (711)
基于某型中波无线电罗盘的数字化罗盘设计	赵阳 于晓亮 尹常京 (713)
基于物理光学法的武装直升机 RCS 计算与分析	朱佳霖 刘成 唐正飞 (717)
武装直升机 RCS 的计算与分析	蒋相闻 招启军 徐国华 (723)
直升机线缆测试系统的研究	覃文平 石磊 杨乐 (729)
直升机试验数据管理系统建设探讨	郑文心 黄玮 彭勇 (733)
A109 型机新材料 TIG 焊工艺研究及应用	石昌明 林瑛 (738)
S92 铝合金机加件批产工艺技术研究与应用	蒋理科 祝益军 熊曦耀 (744)
直升机动力舱试制技术研究与应用	徐德朋 徐少林 龙立军 陈先有 (753)
大型蜂窝夹层桶装结构共固化工艺研究	唐义号 朱银垂 罗国仁 熊哲 (756)
大型镜面大误差范围相位恢复在位测量研究	马艳 毛阳 杨宗阳 边国锋 (760)
叠加式五轴联动数控机床 RTCP 精度校正方法探究	宁思敏 (766)
国外新材料点焊工艺研究及应用	赵兴德 伍坚庭 (771)

航空电缆数字化制造技术应用研究	张珍 (779)
基于 t 检验的实测载荷置信度分析与修谱技术研究	吴堂珍 张伟 熊欣 (785)
激光陀螺捷联惯性导航系统在 Z9 型机上的应用	谢晓明 袁利勋 门吉伟 韩艳春 (791)
民用直升机电间接效应的仿真方法研究	赵娜 张守权 刘向 (796)
某型机操纵系统复合摇臂安装协调	刘巍 吕长生 闫冰 (801)
数控加工刀具防错工艺研究	冯延清 伍坚庭 (806)
直升机传动系统飞行载荷测试及对比	李永寿 程卫真 (812)
直升机复合材料缝合/RFI 工艺制件的设计、工艺与试验研究 ..	齐德胜 宫少波 刘秀芝 周国臣 (816)

使用与维修 (97 篇)

以可靠性为中心的维修分析方法在直升机研制中的应用研究	陈圣斌 陈大禄 曾曼成 (819)
8A813K 气象雷达无显示画面故障分析与排除方法	尹平 (825)
HC-120 直升机直流电源系统故障分析及维护建议	周成东 张金明 连志刚 (830)
HC-120 直升机主电气盒故障分析及应对措施	何林 黎育根 宋永宁 (835)
A Π-34B 自动驾驶仪故障造成飞行姿态不稳的排除方法	贾永翠 连志刚 马燕 (839)
T B3 发动机压气机导向器角度特性调节的定性分析与检查调整	刘昌雄 刘培元 李超 (842)
部队实施起落架阻尼器修理可行性探讨	吴邦红 常青 贾俊 王维永 (847)
采用提高 RZ/R1 码精度方法实现数据信号的产生	臧和发 纪双星 何丹 (851)
某型直升机发动机停车后发生回火现象的故障排除	冉令辉 姚向国 戴建华 (854)
飞机腐蚀防护与控制技术	李贺莱 李志民 孙健 郭鹏 (857)
蜂窝结构件的无损检测技术发展趋势	段美君 覃文平 潘友明 (861)
故障树分析在直升机撞山事故中的应用	孙绍云 曲海波 余威 李宗原 (864)
国产某型直升机滑撬阻尼器故障分析	赵慧炜 李伯舒 唐德军 郭鹏 (867)
国内外振动传感器校准技术现状分析	王永茂 胡颖 张婧 (869)
国外直升机机载激光告警设备现状与发展	吴森 孙国忠 伏永平 (872)
浅述焊接技术在直九型直升机修理中的应用	陈军喜 吴会庆 贾洪中 (875)
航向指示器磁航向跟踪速度慢的修理探索	孙国森 马燕 宋子非 (878)
机载超短波电台智能测试系统研究	于晓亮 纪双星 施海伟 (881)
基于 FDR 超限数据指标的直升机飞行安全预测	吴瑞金 黄艳芳 果占治 (884)

基于 FPGA 无线电罗盘罗差自适应补偿系统设计 ···	邵长峰 欧阳龙春 唐湘林 胡礼勇 桂学良 (887)
基于 WRF 模式的三维变分同化技术在直升机航空预报中的应用研究	牛珍聪 张文良 张孝忠 (892)
基于单片机的数字语音告警系统设计 ···	尹常京 赵阳 赵明 (895)
基于飞行参数记录系统的直升机故障诊断技术研究 ···	李新民 阎保祝 易辉 黄建萍 (900)
基于飞行载荷分析的直升机动部件故障识别研究 ···	顾文标 喻溅鉴 邹静 潘春蛟 (906)
基于灰色系统理论的陆航装备保障费用预测 GM 模型 ···	潘寒尽 马达 王斌 (911)
基于模态应变能变化率的某型机旋翼大梁损伤识别 ···	王海军 艾剑波 彭利乐 (914)
激光全息无损检测技术在航空维修中的应用 ···	覃文平 张君 王旭东 (920)
米-17 自动驾驶仪零位指示不在零位的原因分析 ···	刘建安 侯胜利 (923)
米-17 系列直升机燃油系统功能结构分析与改进设想 ···	李健 肖阳 李鹏 (926)
米-171 直升机自动倾斜器变距拉杆下叉件异常声音分析 ···	秦金柱 吕志忠 蒲小刚 (930)
米-17 系列直升机发动机水平软轴断丝、扭丝及磨损超标故障分析	杨贵强 王锦涛 马国建 张婧 (933)
某两型直升机发动机油门操纵调整和故障排除 ···	丁忠伟 (936)
某系列调节器程序移植方法研究 ···	胡海波 (941)
某系列武装直升机 23-2 航炮不打火故障原因分析 ···	李孟 李志超 王宁 刘超 (945)
某型直升机发动机稳定性故障排故研究 ···	何林 杨宝盈 宋永宁 (948)
某型机模拟导弹武器信号产生方法研究 ···	张志虎 张少贤 陈伟 吴晓中 王宏宇 (950)
某型机尾传动轴环形箍带断裂综合分析 ···	袁国庆 孙艳升 梁宪福 (953)
某型涡轴发动机冷却通风数据修正分析 ···	王婕 张群岩 (956)
某型语音告警器的数字化设计 ···	赵阳 章学松 宋顶山 (961)
某型直升机航姿系统受磁场影响现象浅析 ···	冯晓明 曹东东 陈华维 (964)
某型直升机控制增稳系统便携式综合检查仪的设计 ···	钟滔滔 陈学江 缪毅 曹花荣 (967)
某型直升机起落架收放系统故障分析 ···	孙德华 曹国廷 贾富海 (971)
某型直升机 D2-207NW1 轴承失效分析 ···	付孝泽 (974)
某型直升机主桨叶疲劳试验提前失效分析及改进 ···	孙涛 刘伟光 曾玖海 贾良现 (978)
某型直升机自动倾斜器故障分析 ···	马小伟 敖英杰 张新军 (982)
某直升机飞行试验中的安全监测与损伤评估 ···	王建 秦瑞芬 吴艳霞 宁远 (987)
气象雷达天线分机稳定电路分析及故障预防 ···	徐新文 魏荣俊 张晓峰 (991)

浅析 WZ8 型发动机拆装后双发匹配性调整	安慧亭 罗亮 杨建军 (994)
浅析虚拟逻辑分析仪在陆航装备维修中的应用	翟琛 孙生生 苑飞 (997)
浅析直 8JH 直升机液压系统污染及防治	李国策 李军亮 曲俊磊 王前程 张耀龙 (1000)
浅析直升机机械故障及预防措施	赵慧炜 韩泽峰 王力功 郭鹏 (1002)
浅析直升机载激光雷达的运用与发展趋势	裴承山 周玉光 何丹 (1005)
浅析直升机作战及训练安全	张文良 牛珍聪 孙鑫 (1009)
谈 Z-9 系列直升机地平仪的维修保障问题	贾永翠 张金明 吴健 (1013)
陀螺效应对直升机传动轴影响之模型建立研究	谢建华 韩跃峰 陈琳玲 (1017)
涡轴发动机高寒起动试验研究	苗禾状 袁长波 张媛 (1020)
涡轴发动机性能特性防冰引气飞行试验	袁长波 苗禾状 (1022)
无线电罗盘接收机互调干扰分析与抑制	罗新雨 赵阳 李磊 (1025)
武装直升机空地导弹关键技术分析	陶亮 潘立政 (1028)
武装直升机武器应急投放系统故障分析	宋召辉 王宁 陈春国 牛新刚 (1033)
武装直升机战时跟随保障对策研究	王天玉 刘巍 张志虎 李伟 孙满红 (1035)
现代直升机救生技术	王洪 裴承山 肖剑 (1039)
一起旋翼地面停机刹车故障分析	马虎 涂明武 曹国廷 (1042)
一起直流电源系统故障分析、排除及改进建议	曹学峰 王进才 秦昌明 (1044)
一种基于故障树知识的直升机供油系统故障诊断方法	孙世霞 陈昕 (1046)
一种解决直升机超短波电台通讯距离不够的方案	陆明明 崔玉波 王希豹 李继国 (1050)
一种新型的米系列直升机尾轴间隙综合测量设备	赵传杰 吴健 陈春国 (1054)
一种在地面再现直升机自驾航向系统故障的方法	曹学峰 秦昌明 刘波 (1059)
语音报警装置误报警故障分析	韩广雁 孙国忠 黄健 (1061)
直 8A 直升机滑跑着陆中前轮定向锁销折断分析	吴由录 (1063)
直九某架机涵道尾桨故障分析	刘政 姜大成 张元瑞 姜志金 (1065)
直升机编队激光通信系统	乔庆刚 武佳庆 武瑞 (1069)
直升机单机寿命监控系统应用研究	李宗原 余威 杨宇航 孙绍云 (1073)
直升机电源系统地面模型试验方法研究	陈琳玲 薛洪熙 谢建华 (1077)
直升机防撞灯故障分析及改进方案	秦昌明 曹学峰 孙世霞 (1081)
直升机复杂电磁环境下飞行训练研究	裴承山 臧和发 宋军杰 (1084)
直升机电源系统故障诊断专家系统	陈琳玲 吴立勋 王世成 (1091)

直升机航炮气压缓冲器压力分析与仿真	刘巍 王宏宇 戴永自 张鹏 李识 (1097)
直升机机载超短波电台收发联锁问题探讨	周军 姜锋 周吉刚 (1101)
直升机机载反坦克导弹作战使用研究	王振 陈伟 王旭东 (1105)
直升机机载设备军民一体化维修保障研究	孙世霞 陈昕 曹花荣 (1110)
直升机桨毂弹射阻力伞自救方案的可行性研究	覃文平 潘友明 边延民 (1114)
直升机空对空自主导航飞艇红外靶标的研制	杨妮 陈军喜 孙继康 冯跃军 (1116)
直升机快速修复中激光喷嘴保护气体流场实验研究	赵维义 易德先 胡芳友 (1120)
机载雷达告警系统的技术应用及发展趋势	臧和发 施海伟 孙凯平 (1125)
直升机某型航空地平仪电气式修正装置的可靠性计算	韩跃峰 钱勃 刘国华 (1128)
直升机三轴大气数据系统与膜盒仪表空速指示系统误差原因分析	李秀玲 韩艳春 李卉 (1131)
直升机通信装备故障诊断专家系统研究	纪双星 周凯 吴森 (1135)
直升机无线电设备的电磁兼容性问题及解决方案	鞠艳秋 李大卫 陈恩龙 周占宇 (1138)
直升机旋翼涡环告警系统研究	钱勃 韩跃峰 刘国华 (1142)
直升机在作战行动中面临的主要威胁	马达 潘寒尽 辜磊 (1145)
直升机战场应急维修技术研究	孙艳升 梁宪福 袁国庆 (1148)
直升机装备使用风险管理框架研究	刘波 李春虹 高晓冬 (1152)
某主减速器离合器轴承故障分析	陈亚平 张启涛 (1158)
某主减速器离合器主动轴轴颈磨损故障排除	张启涛 祝恒山 (1162)
某主减速器润滑油路故障分析与排除	张启涛 祝恒山 (1166)
装备维修人为差错产生的原因及措施	梁虹 吴立勋 张立 (1170)

未来直升机平台技术与飞行试验发展要求

于琦 秦超敏

(中航工业飞行试验研究院, 西安 710089)

摘 要: 本文对直升机技术发展整体趋势和技术水平进行了归纳, 提出了我国未来直升机技术发展中的面临的几项关键技术。根据我国现有的直升机试飞技术水平, 提出了适应全球直升机技术发展、满足国内直升机技术研究过程中需要重视的若干基础软/硬件建设、专业合作与技术研究深度的问题和解决途径。

关键词: 直升机, 技术发展, 试飞

1 引言

飞行试验是与航空器实际应用最贴近的一种试验方法和工程研究手段, 在航空器的百年发展历程中, 飞行试验一直都是航空器技术发展、验证和完善的有力支持。经过四十余年的建设, 我国直升机飞行试验已经形成了较为完善的试飞技术体系和保障条件, 具备了涉及性能、品质、飞控、结构强度、振动、仿真、发动机、武器、航电等多专业试飞及试验机改装、飞行指挥与驾驶、空地一体测试的能力。

随着国民经济发展和国防建设需求, 以直升机为主角的旋翼飞行器已经进入了一个快速发展的阶段, 在跟踪先进直升机发展技术, 促进我国自主直升机技术水平提高的过程中, 如何立足国内现有的试飞技术能力, 发现不足, 找准目标, 选择合适的突破口和手段, 有针对性地完善试飞体系, 服务于旋翼航空器技术提升和使用, 是我国试飞机构在“十二·五”期间需完成的一项重要工作内容。

2 未来直升机平台技术发展的趋势

2.1 方向一——实现高速飞行

旋翼带来优异的起降特性和低空低速飞行能力的同时, 也由于其气动和结构特点使得其“前飞效率”明显不如固定翼机, 滑过旋翼桨叶的气流速度大部分没有转化为飞行速度和前进的行程。使其无法高速和长距离飞行。这也是直升机相对固定翼机最大的不足。提升飞行速度是其技术发展的重要目标。

● 倾转旋翼机方兴未艾

倾转旋翼机是将直升机的旋翼与固定翼机的推进螺旋桨进行功能上的结合, 安装刚性桨叶的机翼或发动机可以在水平和垂直方向转动。使得它可以在起降过程中体现直升机的飞行特征, 而在巡航中则以螺旋桨固定翼机的方式飞行。

美国 Bell 直升机公司经过 20 多年的努力, 终于使得 V-22 “鱼鹰”倾转旋翼机获得了海军的初步认可, 但其刚性旋翼可能依然存在较大的动力学问题, 过渡飞行过程中动力失效后的安全性问题还没有完全解决。

● 复合式直升机重新迎来发展机遇

复合式直升机的思路是使用螺旋桨或喷气发动机为直升机提供额外的前进推力, 并使用加长的机翼为旋翼卸载, 以提升速度。复合式直升机可以在现有的直升机的基础上进行改进设计, 相对新机型的开发而言其投入低, 风险低, 但效益明显。美、俄都在现有的直升机基础上提出了具体的方案。但其主要问题是结构重量增加较大, 悬停需用功率增加明显。此类飞行器期待实际的成功应用。

● “ABC”概念从验证走向应用

前行桨叶概念(Advanced Blade Concept)是采用共轴布置反向旋转的一对刚性旋翼, 充分利用前行桨叶一侧的升力, 以较小的旋翼转速推迟前行桨叶激波失速来提高飞行速度。前行桨叶概念有效的

削弱了直升机的气动环境不对称带来的诸多弊病,使得其操纵特点更加接近固定翼飞行器,在明显提高飞行速度和航程的同时,还发现其具备更高的悬停飞行效率,同时旋翼噪声也获得良好的控制。

Sikrosky 公司采用此技术的 X-2 概念直升机已经成为下一代直升机发展的技术平台,将在此基础上研发包括先进有人驾驶武装直升机和重型起重直升机在内的机型。

● 新概念旋翼-机翼飞行器概念初展锋芒

使用一种可以在旋翼和机翼两种模式下转换工作的升力结构,充分利用旋翼的垂直起降和低空低速飞行能力,而在巡航时采用固定翼机的飞行方式,从目前来看大概是最具有创新魄力的方案。

美国的 X-50 旋翼-机翼飞行器采用了桨尖喷气驱动旋翼进行垂直起降和低速飞行,重新设定迎角并锁定后转换为典型固定翼机飞行方式。预计其飞行速度可以轻松超越 500km/h。

2.2 方向二——实现傻瓜化飞行控制

由于旋翼特有的气动力不平衡特征,直升机存在明显的气动、操纵耦合现象。相对于固定翼飞行器其飞行驾驶技能要求较高,飞行员工作负荷大,一定程度上削弱了其垂直起降带来的优势,限制了其成为一种大众飞行交通工具。

直升机操纵系统从初期的纯机械操纵,到安装简单的自动驾驶仪,到增稳系统和控制增稳系统,其飞行品质获得不断的改良。特别是电传飞控技术的逐步成熟,辅之在飞行力学的研究深入、飞行试验调参数据的丰富及计算机运算能力的推动,直升机的飞行操纵将向更精确,更简单和更可靠的方向发展。

未来直升机的飞行操纵必须更接近固定翼飞行器,并给飞行员提供简洁的座舱环境,有序实用的信息,同时通过智能飞控系统 will 飞行员从频繁的直升机操纵和配平工作中解放出来,使他们用更多的精力完成任务本身,在实现傻瓜化飞行控制的过程中,必须达到:

● 简洁座舱——优秀的人-机工程设计思想的体现,是飞行驾驶作业舒适高效的基础。

有序信息——基于快速的处理速度,细致准确的专家系统和庞大的数据库支持,只提供给飞行员最关键的信息,少而精,可给飞行员提供少而精的实时决策咨询;随着更先进信息技术的应用,下一代直升机将装备高性能计算能力和高吞吐量的智能计算机网络,甚至实现空海天一体和远程控制能力。

● 智能飞控——具备预定任务分析能力,实际飞行环境的解算能力和对飞行员驾驶习惯的记忆能力,具有极高控制权限的人工智能飞行控制系统能够达到全解耦飞行控制。在必要时甚至可以接替飞行员对飞行器的控制。

2.3 方向三——继续提高舒适性、增强安全可靠度,降低使用成本

现阶段的直升机乘坐舒适性相对固定翼机有一定的差距,主要体现在动部件产生有较大的振动,噪声大。座舱不密封,舱内压力和温度控制能力较差。其中振动和噪声问题是未来旋翼飞行器将重点解决的舒适性问题;直升机动部件多,交变载荷复杂,其独特的构型及相对恶劣的应用环境造成了其事故率高于固定翼机,提高可靠性除提升自身的飞行品质外,还体现在结构可靠性和系统功能部件、分系统的可靠性的提升上。

途径一:使用智能旋翼技术。智能旋翼是在旋翼结构中埋入智能材料作为传感器,做动器和控制器。同时将控制电路,逻辑电路、信号处理器、功放等集成在旋翼结构中,可以感受旋翼和机身的振动、噪声情况,能够自主地或受控地改变旋翼相关参数,以改变直升机气动特性,调整飞行状态,提高飞行品质,减小振动和噪声,改善旋翼系统的疲劳载荷。同时智能旋翼可以减少传统的飞行操纵系统的部件数量,减轻结构重量。

途径二:采用智能机体结构。通过在机体结构中嵌入传感器,实时监测机身结构由于机动飞行载荷超过允许的包线、疲劳、应力腐蚀、环境影响及弹击引气的损伤程度和位置,并且跟踪损伤的发展程度,通过专门的微处理器后,提供给机载或地面的专家系统给出分析结果,供飞行员决策;或提供给地勤人员为维护方案提供依据。

3 我国未来5~10年的直升机技术预测和试飞技术面临的关键技术和要求

3.1 直升机电传飞行控制系统进入应用阶段, 要求试飞内容完整, 评价合理, 安全可控

采用电传操纵系统是第四代直升机的典型特征, 我国“十二·五”期间将开展直升机电传系统的开发。电传系统占用空间小重量轻、余度设计方便, 易与主动控制系统结合, 可有效抑制旋翼振动载荷, 改善旋翼气动特性等优点。但是不容忽视的是它也是一种高增益系统, 任何不完善、不合理的设计都可能在特定的飞行中产生难以预料的操纵响应, 特别是在精确和迅猛大幅操纵中, 很容易引发严重的输入自激振荡问题——PIO。

电传操纵系统的反馈并不直接, 飞行员不易感受到旋翼气动控制效果的直接变化, 特别在极限位置状态下的操纵输入往往会出现意想不到的响应; 任何操纵系统增益调整的不好, 极易引起不良的人机耦合现象, 而且发生的极为突然和剧烈。

因此在试飞当中面临尚不完善的电传飞控系统, 其风险也是显而易见的。直升机飞行机动状态复杂, 试飞方案设计中飞行状态必须非常全面, 包括不同模式间的切换状态都必须进行细致检查, 任何疏漏的角落都可能给实际应用留下隐患。电传飞控系统直升机的试飞的技术难点也就体现在要设计出一套考核内容全面, 评价方法合理、飞行安全可控的试飞方案和技术。

3.2 智能旋翼系统将走出试验室进入试飞验证, 桨叶运动、气动载荷测试与分析技术必须有较大的跨越

桨叶主动襟翼/后缘挥舞控制、桨叶主动扭转、智能旋翼桨尖控制等智能旋翼技术在提升气动效率, 减小振动和改善结构载荷等方面体现出明显的优势。国内智能旋翼技术研究将逐步在“十二·五”期间逐步从理论基础研究向应用过渡。飞行试验的主要任务是对其控制方法、效能, 可靠性等提供真实的飞行环境进行实际验证, 发现缺陷, 促进其早日进入实用阶段。该技术的试飞验证技术的难度体现在:

- a) 硬件改造——智能旋翼试验件;
- b) 旋翼气动力载荷测试与分析方法;
- c) 结构载荷测量;
- d) 旋翼桨叶运动测试;
- e) 控制元件、执行元件可靠性评价;
- f) 智能旋翼控制技术验证、效能评价。

3.3 直升机防除冰能力要求, 直升机防除冰试飞技术和保障条件必须有所改善

具备旋翼系统防除冰能力是未来几年内通用型、民用型直升机的研制要求和适航认证要求之一。相对而言, 飞行试验在此项目的研究中将面临远大于设计和制造的难度。国内试飞机构虽然在民用固定翼机上已经成功进行过自然结冰条件下的结冰飞行试验。但是直升机的旋翼防除冰试飞方面还没有任何经验, 面临的难度更大。直升机旋翼防除冰试飞技术难度主要体现在:

- a) 带冰状态旋翼气动性能和飞行品质预测;
- b) 自然环境和防除冰系统效能评价方法;
- c) 试验所需的软硬件条件建设——气动模拟和计算软件、结冰喷洒系统、结冰传感器监视器等;
- d) 飞行试验方法设计和安全保障措施;

3.4 民用直升机比例增大, 军机强制适航逐步深入, 要求全面贯穿适航标准

“十二·五”期间是我国民用直升机快速发展的五年, 面临中、大型民用直升机的适航取证和重型民用直升机的研发工作, 与国外同步对民用直升机进行适航审定试飞工作是国产民用直升机市场效益和独立知识产权的重要保证。

此外军用直升机的强制适航要求也进入推进阶段。也要求试飞工作更加符合适航标准的要求。全方位全过程地执行适航标准, 需对传统的试飞管理方法和试飞技术, 如试飞方法、测试、数据处理等进行标准化提升。将适航思想全面引入到军、民用直升机的试飞过程中, 需对整个试飞技术实施和管

理方式进行一次大变革。

3.5 加快弥补在复合材料结构载荷测量和可靠性试飞技术方面的不足是当务之急

由于在结构和动力学方面的特殊需求和复合材料的优良特性,复合材料在直升机上的使用比例一直高于固定翼机,在复合材料的制造工艺上已经趋于成熟,但是对复合材料的力学研究,特别是飞行过程中的力学、载荷、可靠性的基础研究和试验相对滞后。这将对我国下一代直升机的结构设计、制造产生不利影响。专业试飞机构应加强复合材料力学分析、飞行状态下的力学测量技术研究,弥补复合材料关键承力机体结构件、大尺寸大变形整体结构和旋翼系统在力学测量与分析方面的不足,必须与制造厂家加强合作,开展专门的预先研究试飞和试验件准备,服务于新机研制。

4 直升机试飞机构发展必须关注的几个问题

从以上的分析可以预计,未来5~15年间,世界直升机的技术发展将完成第四代直升机的成熟和第五代旋翼机关键技术整体突破。而在我国“十二·五”期间,直升机也面临着多个型号的研发和投入应用,旋翼技术、控制技术、机体结构技术将成为有重大的提升。直升机试飞机构为适应技术发展,必须在以下几个方面给予关注:

4.1 拓宽旋翼飞行器试验飞行专业面,培养多技能型人才

试验机本身越来越复杂,试飞也是一个涉及气动、旋翼动力学、结构、自动控制、航电、武器、计算机、信息技术、飞行驾驶和管理等多门技术的综合学科。未来还将增加微电子技术、生物力学、心理学等更多的学科。要求技术人员具备多个学科的综合知识和多维思考的能力。要求试飞工程师在深入掌握某方面的技术能力的前提下,其知识面必须广阔,过去那种单纯的仅具备一个专业的技术人员难以适应未来机型的试飞工程研究和管理。

必须培养出具备跨专业的技术人才作为多专业的黏合剂,试飞总师必须如此。

此外通过模拟器飞行和实机体验飞行,加强试飞工程师的对飞行本身的理解和掌握,至培养出具备飞行资格的技术人员,具备试验设计、执行、数据分析和评价能力的综合性人才也是未来人才培养的努力方向之一。

4.2 主动加强与设计生产方、使用方的沟通,确保飞行试验有效前推后延

将试飞真正变成联结航空工业产品研发与产品实际应用的纽带。

通过与小平航空器研制、生产的航空工业的前端联结,可以真正确立有助于提升直升机技术水平的研究方向,制订细致的研究内容。满足旋翼航空器在研发过程中的技术需求,解决难题,提供良好的技术验证条件;同时与包括民航、通用航空公司和军方在内的使用方联系,将试飞过程,甚至整个产品研发过程中的技术信息传递到应用层面,同时开展应用技术试飞,解决在应用过程中的困难,并将应用需求反馈至航空产业前端。

4.3 必须下功夫改善试飞研究的软硬件技术条件

试飞是一项高投入高产出的研究手段,与国外相比,目前国内试飞机构可用于技术研究的经费还不能够满足新技术研究的需求,同时也面临着试验机缺乏、试飞工程师缺乏、试飞员缺乏的尴尬局面,因此,必须从以下几个方面入手,改善试飞研究的各项条件:

- 扩大规模引进气动、材料、结构力学、电气、测试等方面的技术人员,建立具有专业完善、人员充足的试飞技术研究团队,形成型号任务和预先研究两条腿走路的健康发展局面;
- 继续直升机地面模拟试验设备的建设和完善,适应基础研究、试飞方法验证、飞行训练、技术培训和风险科目验证等需求;
- 扩大试验机引进渠道,形成能够开展重型、中型通用、武装型和无人驾驶等几个重点方向的直升机技术研究的试验机序列,建立专用和综合试验平台,满足各类试飞需求;
- 完善和丰富旋翼类飞行器气动分析、载荷计算、参数识别、飞行模拟、飞行监控和二次数据处理、数据库管理的各类软件,并能够开展较为深入的应用;
- 细致梳理,建立旋翼飞行器专用的测试设备和飞行保障硬件系统,包括专用测试传感器、数据传

输系统、监控平台、专用的试验保障车辆等。

4.4 加强旋翼飞行器试飞基础研究力度, 强调面对真实应用的试飞

目前试飞院受人员数量、基础理论水平、软硬件条件和工程应用需求等影响, 并未在航空基础性科目和基础应用技术方面开展较为深入的研究。在面对下一代旋翼飞行器, 将可能出现技术对话困难、试飞方法陈旧, 数据分析不深入、结论不准确、建议不到位等问题。加强引进和培养高素质技术人才, 配置必要的研究条件, 针对未来旋翼航空器的发展趋势和技术特点, 选择若干最关键的基础专业, 包括气动力分析、动力学研究、结构力学、飞控控制率研究、材料技术、测试技术等开展研究。并结合风洞试验、模型自由飞试验结果, 指导和设计飞行试验方法, 并与之进行对比, 提升试飞安全性和试飞效率。

加强试飞技术人员和试飞员对被试对象的实际应用环境和需求的理解, 在试飞中给予充分考虑, 通过与试验方充分合作, 修改和完善相关标准、规范、实施流程, 调整试验内容和方法, 使试验结果能够更好地为实际应用提供直接的参考和服务。

4.5 建立并充分利用直升机试飞数据库

试飞院目前已经完成了十余种型号和改型的直升机的鉴定、定型试飞工作, 试飞专业覆盖范围全面、数据量达到了数百 GB。应充分利用此宝贵资源, 服务于我国直升机设计与制造, 并提高改进试飞技术。

目前已经完成数据库管理软件的设计和试运行。该数据库目前具备对试验机分时状态、试飞数据(包括时间段、动作内容)、测试设备、飞行日志、数据处理结果等进行全面的管理能力, 并具备细致到动作段的检索功能。但要充分发挥其效能还需要进一步加强对现有数据的再开发。以通过真实的试飞数据对改型和新机研制提供有益的参考和指导。

4.6 继续提升试飞组织管理水平, 提高试飞效率

随着新机型的提升, 新机试飞工作量, 课题数变化、试飞周期却没有明显的变化, 为达到提高试飞效率、缩短试飞周期和降低试飞成本目的, 除了需在技术方面进行试飞内容的细致梳理与归纳, 对飞行状态、技术要求、测试需求、安全保障等若干内容进行组合, 逐步从“结合试飞”、“联合试飞”向“综合试飞”过渡, 同时也必须在试飞组织管理方面进行适应性的调整, 并建立健全实用高效的试飞技术质量保障体系。

5 结束语

“直升机的夏天已经来到”, 在“十二·五”期间, 我国直升机产业将进入到一个蓬勃的发展时期。但是由于我国在重大航空技术预研提前量约为 5~10 年, 而使用试飞开展的预研项目提前量仅为 3~5 年, 而国外通常在新机研制前 15~20 年前(个别课题达到 30 年); 在预研方法上倾向于低投入的理论研究和风洞试验, 技术研究结果与实际应用之间存在较大的差异。试飞技术研究存在很多需要弥补的工作。

我们看到飞行试验要服务于国内直升机技术的发展和运用, 追赶世界旋翼飞行器技术跨越式发展, 还面临着基础建设、技术研究、人才培养和管理改进等方面非常巨大的工作量, 可谓“任重”; 但型号任务需求紧迫, 试飞难度和风险剧增。

“十二·五”期间试飞院应加强试飞基础研究和基础保障条件建设, 加强与所有直升机研制单位、基础研究机构以及使用方的沟通与合作, 确定关键突破点, 保障现有型号任务的顺利进行, 提升飞行试验在整个直升机产业内应有的地位与作用, 并为飞行试验能力的长远建设与技术合作奠定基础。

参考文献

- [1] 林海, 论我国试飞技术发展战略, 《飞行试验》, 1996.3;
- [2] 张广林, 未来直升机技术发展;
- [3] 蔡汝鸿, 新原理直升机发展现状, 《直升机》, 2000.3。